

1105 04/10/2022

Mod. C.E. - 1-4-7

1104/1022

MODULARIO
I.C.A. - 101



Ministero delle Attività Produttive

Direzione Generale per lo Sviluppo Produttivo e la Competitività
Ufficio Italiano Brevetti e Marchi

Ufficio G2

REC'D 26 APR 2004

WIPO PCT

Autenticazione di copia di documenti relativi alla domanda di brevetto per: Invenzione Industriale

N. MI2003 A 000589



Si dichiara che l'unità copia è conforme ai documenti originali depositati con la domanda di brevetto sopraspecificata, i cui dati risultano dall'accicluso processo verbale di deposito.

PRIORITY
DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

31 MAR. 2004

Roma, II

IL FUNZIONARIO

Eugenio Marinelli
Sig.ra E. MARINELLI

BEST AVAILABLE COPY

RIASSUNTO INVENZIONE CON DISEGNO PRINCIPALE, DESCRIZIONE E RIVENDICAZIONE

MI2003A 000589

REG. A

DATA DI DEPOSITO

25.03.2003

DATA DI RILASCIO

11/11/2011

D. TITOLO

Sistema e metodo per il controllo in linea di una macchina di saldatura di testa

L. RIASSUNTO

Un sistema di controllo della saldatura di testa per barre, blumi o billette, controlla la saldatura agendo su un attuatore (U) di apertura della valvola di controllo del posizionamento delle morse della macchina di saldatura e sul parzializzatore, in base al funzionamento di un osservatore di stato dinamico (A) che osserva variabili di stato (X) del processo di saldatura di un generatore di traiettorie dinamico (B) per variabili di performance (Z), che definisce predeterminate traiettorie ottimali (Z_{set}) da far seguire alle variabili di performance (Z), di una legge di controllo dinamica (C), basata su valori di variabili di performance (Z), delle traiettorie ottimali (Z_{set}), atta a comandare l'attuatore (U) e il parzializzatore in base al valore delle variabili di performance (Z) e delle traiettorie desiderate, un generatore di segnali di sincronismo (E) atto alla generazione di segnali di sincronismo (Sync).



M. DISEGNO

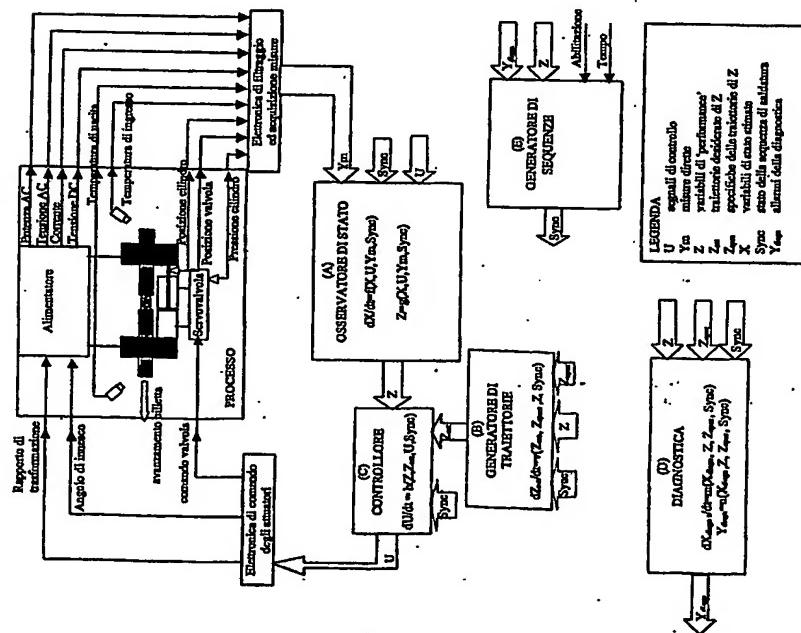


FIG. 1

Descrizione dell'invenzione industriale dal titolo:

"Sistema e metodo per il controllo in linea di una macchina di saldatura
di testa"

A nome di: DANIELI & C. OFFICINE MECCANICHE S.p.A.

Con sede in: BUTTRIO / UD

A nome di: DANIELI AUTOMATION S.p.A.

Con sede in: BUTTRIO / UD

MI 2003 A 000589

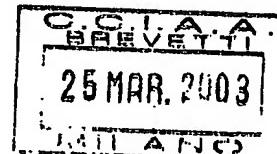
Inventori designati: DRIUS Francesco, GUASTINI Fabio,

VENIER Daniele, BUZZI Giuseppe

Depositato il

Con il numero

* * * * *



Campo dell'invenzione

La presente invenzione si riferisce ad un metodo per il controllo in linea di una macchina di saldatura di testa per barre, blumi o billette, per esempio del tipo Flash Welding inserita in un processo continuo di lavorazione di blumi o billette. L'invenzione si riferisce anche ad un sistema di controllo specialmente concepito per la messa in opera di tale metodo.

Stato della tecnica

Sono noti dallo stato della tecnica processi di saldatura di testa del tipo Flash Welding che comprendono diverse fasi.

La prima fase è quella di preriscaldo che inizia quando la saldatrice riceve l'abilitazione esterna ad iniziare la saldatura. In questa fase la billetta viene stretta tra le morse ed i giunti vengono avvicinati ed allontanati ciclicamente facendo scorrere in essi una corrente di forte intensità.

Il preriscaldo delle billette è svolto con impulsi di breve durata per evitare di incollare le teste delle billette con una forza superiore alla forza di di-



stacco erogabile dalle morse. Se la tensione di preriscaldo è troppo alta può accadere che si innescino archi. In fase di preriscaldo generalmente il controllo di corrente tiene la corrente massima che l'alimentatore è capace di sostenere in corto circuito. Il compito del preriscaldo non è tanto quello di scaldare le billette, quanto di bruciare e quindi spianare eventuali irregolarità delle superfici di contatto nelle quali la corrente si dovesse concentrare. Infatti, vista la bassa resistenza delle billette, con una corrente di 30000 A non si riesce a fornire una potenza termica superiore ad alcune migliaia di watt (3-5 kW), il che produce solamente un modesto riscaldamento di entità inferiore ad un grado al secondo.

Una volta terminata la fase di preriscaldo, normalmente dopo un tempo prefissato, si svolge la seconda fase detta di scintillazione. All'inizio di questa seconda fase, le traiettorie elettriche e meccaniche del processo sono mirate a fare scoccare e diffondere l'arco elettrico tra i giunti in modo regolare. Poi, durante la fusione, la geometria dell'arco elettrico e la potenza termica, fornita ai giunti, vengono mantenute su delle traiettorie preimpostate che ottimizzano il risultato della saldatura.

La massima potenza erogabile in scintillazione si imposta agendo sulla tensione di alimentazione che può essere aggiustata agendo sul rapporto di trasformazione del trasformatore (definito tap changer in inglese) e sull'angolo di innesco del parzializzatore di fase presente al primario. E' previsto un controllo di posizione che regola la distanza relativa esistente tra le morse attraverso un cilindro idraulico. Normalmente tale distanza viene regolata cercando di mantenere costante la corrente d'arco.

Tipicamente la traiettoria di posizione imposta alle morse è di tipo para-

blico, in quanto la fase di scintillazione si suddivide in 3 intervalli di tempo che devono essere gestiti con diversa velocità di avvicinamento delle morse.

Nel primo intervallo di tempo si porta a 1500 °C la superficie delle billette. In questa fase la velocità delle morse potrebbe essere addirittura nulla in quanto il metallo non fonde ancora.

Nel secondo intervallo di tempo, mantenendo la potenza impegnata costante, l'acciaio fonde. Inizialmente l'acciaio è freddo fino in vicinanza della superficie della billetta e quindi il calore si diffonde in gran parte verso l'interno della billetta e di conseguenza l'acciaio fonde lentamente.

Mano a mano che la billetta si riscalda, il profilo di temperatura nell'acciaio tende ad una forma limite costante e la velocità di fusione diventa costante. In questo intervallo di tempo la velocità delle morse deve esser tale da seguire l'avanzamento delle superfici che si consumano.

Se si alimenta il sistema di saldatura con un generatore a tensione costante e bassa impedenza questo inseguimento dell'avanzamento delle superfici che si consumano non è critico; in quanto se si aumenta la velocità delle morse la distanza si riduce, di conseguenza aumenta la corrente e la potenza termica e quindi la velocità di fusione si adatta automaticamente a quella delle morse. Quanto più alta è la velocità delle morse, tanto più alte sono la corrente e la potenza di saldatura, e tanto minori sono la tensione d'arco e il tempo di saldatura. Tuttavia, se la velocità delle morse aumenta eccessivamente l'aumento di potenza non riesce più a compensare la velocità d'avvicinamento delle billette e si produce un corto circuito, e si provoca il fenomeno indesiderato della saldatura instabile.



Nel corso della saldatura, l'acciaio che fonde brucia l'ossigeno nella vicinanza della zona di saldatura e ciò comporta il vantaggio che la saldatura avviene in un'atmosfera quasi inerte. Se però l'arco elettrico si spegne, entra ossigeno che genera ossido che danneggia la saldatura. In questo caso un ulteriore svantaggio è che, con l'arco elettrico spento, il raffreddamento della superficie dei giunti è così rapido da provocare problemi di risolidificazione. Anche brevi intervalli di spegnimento dell'arco, dell'ordine di 100 ms, se avvengono poco prima della fase successiva di ricalcatura possono compromettere la saldatura.

D'altra parte durante la fase di scintillazione, l'acciaio fuso esce dal gap e porta con sé eventuali ossidi, quindi eventuali brevi interruzioni d'arco lontane dalla ricalcatura non sempre compromettono l'esito della saldatura, tuttavia le interruzioni d'arco sono comunque da evitare perché in questo caso la saldatura riceve meno energia e si ha una dispersione dei risultati della saldatura. Questo caso si può verificare se si lavora con angoli d'innesto del parzializzatore troppo alti, per cui i buchi di corrente che si generano possono rendere instabile l'arco elettrico e causarne frequenti spegnimenti che compromettono la qualità della saldatura.

Infine la fase di scintillazione prevede anche un terzo intervallo di tempo in cui il gap tra le teste delle billette viene chiuso per iniziare la fase di ricalcatura. E' importante chiudere il gap molto velocemente in modo che nel lasso di tempo tra lo spegnimento dell'arco e il contatto delle superfici di testa l'aria non faccia in tempo ad entrare, provocando sia l'ossidazione dell'acciaio che il raffreddamento delle superfici delle billette. Durante l'operazione di chiusura del gap si fa sì che l'arco non si spenga, in modo che la prima parte della operazione di ricalcatura venga

fatta in presenza di corrente elevata per compensare, mediante un apporto di energia per effetto Joule, il raffreddamento dovuto alla diffusione del calore nelle billette. La corrente viene interrotta solo un centinaio di millisecondi dopo che avviene il cortocircuito.

La velocità con cui si consuma l'acciaio quando l'arco è acceso è un parametro critico ed è proporzionale alla potenza di saldatura. Tale velocità dovrebbe essere mediamente di 1,8-2 mm/sec. All'inizio del processo di saldatura si parte con una velocità che è la metà di quella media.

Saldando ad alta potenza, si presenta un altro svantaggio, e cioè accade che l'acciaio brucia velocemente andando in questo modo ad assottigliare la zona "plastica", ossia quella che si trova a temperatura tra i 1400°C ed i 1500°C e che serve alla ricalcatura. Questo può dar luogo a giunti "freddi". Al contrario a potenza troppo bassa, si allunga il tempo di saldatura e si può avere un'insufficiente evacuazione degli ossidi che si formano durante la scintillazione.

Il tempo d'accensione dell'arco viene in generale scelto in modo che venga fuso uno spessore d'acciaio almeno pari all'irregolarità originale massima del prodotto e tenendo anche presente la velocità di fusione media più conservativa, che è di circa 1,8 mm/sec.

La definizione di una soglia massima per la corrente ha lo scopo di interrompere rapidamente i cortocircuiti allargando la distanza tra le superfici di testa da saldare. Tale soglia è però abbastanza critica da tarare. In caso di taratura non corretta, il prodursi di corto-circuiti nella fase finale della scintillazione può compromettere la bontà della saldatura. Benché corto circuiti prodotti all'inizio della fase di scintillazione non compromettano seriamente la saldatura se interrotti entro un centinaio di millisecondi.



di, tuttavia causano una riduzione dell'energia fornita ai giunti e quindi portano ad una dispersione dei risultati.

Da quanto detto risulta che la parte della fase di scintillazione che più influenza la qualità dell'operazione di saldatura è quella finale (ultimi 2-3 secondi) in cui occorre evitare assolutamente che avvengano spegnimenti dell'arco o cadute di potenza.

La terza fase del processo di saldatura è detta di ricalcatura e segue la fase di scintillazione. In questa fase la forza di pressione tra le billette e la corrente impiegata vengono controllate per seguire traiettorie prestabilite che ottimizzano la qualità del giunto saldato. A fine fusione la corrente viene impostata su un valore massimo, per favorire la fusione di eventuali zone rimaste fredde ed ossidate, che potrebbero far resistenza all'avvicinamento e la servo valvola che controlla il posizionamento delle morse della saldatrice, viene aperta completamente in modo da avere la massima velocità di chiusura del gap. La pressione è determinata dal vaso di espansione PH (high pressure) che alimenta il circuito idraulico.

Dopo che avviene lo spegnimento dell'arco, è importante chiudere il gap il più presto possibile per evitare l'intrusione di aria nella zona della saldatura ed il raffreddamento delle superfici.

La corrente viene azzerata solamente quando la potenza utile scende sotto una soglia determinata (per es. 50 kW) o si verifica la condizione di TimeOut (per es. 200 ms) nel sistema di controllo..

Dall'analisi del prodotto ottenuto con alcune macchine di saldatura "Flash Welding" note, è stata rilevata un'elevata percentuale di giunti presentanti difetti di saldatura che riuscivano a raggiungere le gabbie di laminazione senza essere rilevati dal controllo di qualità. Questi giunti

saldati male provocavano problemi di qualità nel prodotto finale e in casi estremi anche ad incagli del laminatoio.

Uno studio approfondito del problema, basato sull'acquisizione dei dati di centinaia di saldature, ha condotto alla conclusione che la grande dispersione statistica dei risultati di saldatura nasce dalla grande dispersione di alcuni fattori di disturbo che entrano in gioco nel processo di saldatura. I più importanti fenomeni di disturbo individuati sono le irregolarità presenti nella geometria delle superfici dei giunti da saldare, che spesso presentano zone delle superfici di testa delle billette molto distanti tra loro che non combaciano e la diversa temperatura iniziale dell'acciaio.

Si è riscontrato che i sistemi di controllo dello stato della tecnica impiegati nella regolazione dei processi di saldatura nelle macchine non sono in grado di far fronte a grandi variazioni parametriche del processo quando queste si verificano, il che conduce alla dispersione dei risultati del processo di saldatura.

Inoltre tra i sistemi di controllo di saldatura relativi alle saldatrici in corrente continua, non è noto alcun controllore in grado da rispondere ai requisiti di robustezza richiesti per operare in determinate condizioni sfavorevoli. La maggior parte dei controllori di saldatura noti, vedi le pubblicazioni A.P.Chekmarev et al.; 'Determining the flash allowance for welding hot billets in continuous rolling mills'; Svar.Proiz., 1970, N.8, pp.5-7 e "A new control system for the K-190P rail flash welding machine". PODOLA N.V; KRIVONOS V P; GRABCHEV B L Automatic Welding, vol.36, no:8. Aug.1983. pp.40-43. 7 fig., 1 tab. 3; ref. AUTOMATIC WELDING si basano su un sistema che fa seguire alle morse una traiettoria parabolica



di posizione a catena aperta, ossia indipendente dalle misure di tensione e corrente d'arco. Tale traiettoria viene modificata solo in corrispondenza del verificarsi di cortocircuiti, nel qual caso viene sommato, alla traiettoria parabolica di posizione predefinita, un piccolo gradino di allargamento delle morse.

In questo modo il sistema di movimentazione non riesce a stabilizzare la geometria dell'arco in quanto non la prende in considerazione.

Nel brevetto US-A-4.940.876 si descrive un controllore d'impedenza d'arco per le saldatrici in corrente alternata. Il regolatore mantiene costante l'impedenza d'arco agendo sul controllo idraulico di posizione. L'impedenza di corto-circuito, che è un parametro essenziale nel sistema di calcolo adottato, viene misurata e riaggiornata, nella fase di ricalcatura, alla fine di ogni ciclo di saldatura. In tal modo questo sistema di controllo tuttavia non tiene conto in alcun modo del fatto che la caratteristica dell'arco nei primi momenti del processo di saldatura varia enormemente e perciò non rimane costante nel corso di un ciclo di saldatura. Questa variazione avviene perché, specialmente in presenza di superfici di testa irregolari, l'arco elettrico scocca dapprima in un punto dei giunti dove questi sono più accostati e quindi si allarga progressivamente al resto della superficie di testa, impiegando però alcuni secondi per coinvolgere il giunto intero. Tale sistema di controllo, per mantenere costante in questa fase l'impedenza d'arco in presenza di un arco che cambia caratteristica non riesce ad evitare che si formino dei corti circuiti in fase di accensione. Poiché ad ogni corto circuito consegue uno spegnimento dell'arco e quindi una riduzione dell'energia termica erogata ai giunti, di conseguenza questo tipo di controllore produce irregolarità nell'energia

fornita alla saldatura e quindi si ha una dispersione dei risultati.

Sommario dell'invenzione

Scopo principale della presente invenzione è quello di eliminare gli svantaggi citati secondo un primo aspetto dell'invenzione per mezzo di un metodo di controllo di una macchina di saldatura di testa del tipo "Flash Welding" conforme alla rivendicazione 1 e, secondo un secondo aspetto dell'invenzione, mediante un sistema di controllo aventi le caratteristiche della rivendicazione 3.

Un sistema di diagnostica conforme alla presente invenzione, agendo contemporaneamente sui parametri variabili che intervengono nelle varie fasi dell'operazione di saldatura, è in grado di ottimizzare il risultato dell'operazione di saldatura.

In particolare la presente invenzione supera problemi lasciati irrisolti dai controllori noti, ed in particolare dal controllore di impedenza dell'US-A-4940876 precedentemente citato che, tra questi, costituisce una delle realizzazioni più evolute, ma il quale non agisce sulla tensione di alimentazione per migliorare il controllo della saldatura.

Per ottenere i risultati ottimali, il sistema di controllo dell'invenzione controlla, durante la fase di scintillazione, non solo l'impedenza d'arco ma anche una pluralità di altre variabili, tra cui in primo luogo la lunghezza d'arco. Grazie a questo viene ridotta drasticamente la possibilità di avere dei cortocircuiti in quanto il controllo di lunghezza dell'arco impedisce di fatto ai giunti di toccarsi. Questo viene fatto stimando la lunghezza d'arco con un modello matematico che si basa sulla conoscenza delle leggi fisiche che determinano il comportamento del processo, e su misure dirette.

Inoltre per garantire l'erogazione della potenza desiderata anche su

un'impedenza d'arco variabile si controlla la tensione primaria agendo sull'angolo di innesto del parzializzatore. Se allo scoccare dell'arco all'inizio della fase di scintillazione, l'arco si trova confinato in una piccola parte delle superfici affacciate da saldare a causa di irregolarità di tali superfici, esso presenta quindi, a parità di lunghezza, un'alta impedenza. Il sistema di controllo aumenta la tensione d'alimentazione in modo da fornire comunque piena potenza all'arco che fonde più rapidamente le irregolarità superficiali su cui si è innescato l'arco. Questo favorisce quindi una rapida eliminazione delle irregolarità pareggiando le superfici di testa da saldare.

Dopo di che la potenza termica erogata viene ridotta progressivamente negli ultimi secondi della fase di scintillazione per dar luogo ad un più ampio strato 'plastico' nella zona delle billette in vicinanza delle superfici di testa che migliora la qualità della saldatura.

Per superare anche il problema di variazioni estreme delle condizioni di saldatura per le quali il sistema di controllo non ha margini, di tempo utilizzabile e potenza erogabile, sufficienti per portare a termine correttamente la saldatura, è previsto vantaggiosamente un sistema di diagnosi in linea che riconosce il giunto saldato in modo inaffidabile e ne permette l'eliminazione dalla catena di lavorazione.

Un ulteriore vantaggio del sistema di controllo dell'invenzione è la presenza di un osservatore di stato dinamico che, considerando tutta la storia del processo di saldatura fino al tempo attuale, è in grado di ricostruire e anche prevedere per gli istanti successivi l'andamento di un gran numero di variabili di stato e di performance sulle quali si basa l'azione di controllo e la diagnostica. Il controllo contemporaneo di queste variabili,



al fine di mantenerle su traiettorie predefinite, porta al superamento delle prestazioni fornite da sistemi di controllo noti, i quali si basano solo sul rilevamento di alcune variabili direttamente misurabili, rendendo il processo di saldatura meno affidabile.

La combinazione di tutti questi elementi, previsti nel sistema di controllo conforme all'invenzione, determina la superiore qualità della saldatura nelle billette.

Tra gli obiettivi principali che il sistema di controllo raggiunge, vi sono quello di rendere più affidabili e ripetitive, in ogni fase della saldatura, l'andamento delle variabili di stato elettriche, termiche e meccaniche del sistema di saldatura, e di eventualmente non far procedere verso le successive fasi di lavorazione eventuali giunti nei quali la saldatura non fosse riuscita bene.

Liste delle Figure

Ulteriori vantaggi conseguibili con il presente trovato risulteranno più evidenti, al tecnico del settore, dalla seguente descrizione dettagliata di un esempio di realizzazione particolare a carattere non limitativo, di un sistema per il controllo in linea di una macchina di saldatura di testa con riferimento alle seguenti Figure, di cui

La Figura 1 rappresenta il diagramma a blocchi del sistema di controllo dell'invenzione,

La Figura 2 illustra lo schema funzionale logico del metodo dell'invenzione;

La Figura 3 mostra alcuni grafici con traiettorie ottimali di alcune variabili di performance.



Descrizione dettagliata dell'invenzione

La soluzione conforme all'invenzione per risolvere il problema tecnico prevede un metodo per il controllo e la diagnosi in linea di una macchina di saldatura di testa del tipo "Flash Welding", atta ad essere inserita in un processo continuo di lavorazione di blumi e billette.

Il metodo dell'invenzione prevede sostanzialmente di controllare, in base a predeterminati criteri illustrati in maggior dettaglio nel seguito della descrizione, due attuatori che agiscono rispettivamente sull'angolo di innesco del parzializzatore per controllare la macchina elettrica che fornisce la potenza termica alla saldatura e sull'apertura della valvola che controlla il posizionamento delle morse della saldatrice.

Con particolare riferimento alla figura 1, nella quale vengono utilizzati i simboli seguenti:

U = segnali di controllo

Y_m = misure dirette

Z = variabili di performance

Z_{set} = traiettorie desiderate di Z

Z_{spec} = specifiche delle traiettorie di Z

X = variabili di stato stimate

S_{seq} = stato della sequenza di saldatura

Y_{diag} = allarmi della diagnostica,

il metodo dell'invenzione è messo in opera tramite un sistema di controllo comprendente una legge di controllo dinamico, blocco C, multivariabile basata su tecniche d'ottimizzazione multiobiettivo e di sintesi robusta in grado di mantenere sotto accurato controllo tutte le traiettorie delle variabili che determinano la qualità del processo, anche in condi-

zioni in cui vi è incertezza sui parametri definenti la caratteristica dell'arco e la geometria dei giunti, in modo da far convergere rapidamente, fin dall'inizio della saldatura, gli andamenti di tutte le grandezze elettriche, meccaniche e termiche verso i valori desiderati nonostante il verificarsi di ampie variazioni parametriche nel corso del processo di saldatura.

Secondo un aspetto particolarmente vantaggioso dell'invenzione, il sistema di controllo prevede anche un sistema di diagnostica in grado d'identificare i giunti che non fosse stato possibile saldare correttamente a causa della presenza di valori estremi dei fenomeni di disturbo.

La legge di controllo dinamica, blocco C, agisce contemporaneamente sull'angolo d'innesto di un parzializzatore, che regola l'alimentazione, e sul comando idraulico di movimentazione delle morse mantenendo l'andamento reale dei valori elettrici, meccanici e termici del processo di saldatura vicini all'andamento ottimale. Poiché non tutte le variabili che determinano l'andamento del processo di saldatura possono essere misurate, è previsto un metodo di stima basato su un modello matematico ed euristico che ricostruisce in linea le variabili necessarie a completare l'informazione sullo stato della saldatura. Sulla base di queste variabili di stato vengono identificate le variabili che determinano la qualità del processo il cui andamento determina la bontà del risultato globale della saldatura. Per queste variabili, che chiameremo "variabili di performance", sono state determinate, attraverso prove, le traiettorie ottimali che dovrebbero essere seguite durante la saldatura.

In base alle variabili di performance fornite da un osservatore di stato dinamico è stato sviluppato anche un sistema diagnostico in grado di rile-

vare se la saldatura non ha raggiunto la qualità desiderata, a causa del verificarsi di qualche problema. L'allarme generato da questo sistema diagnostico fa sì che il giunto difettoso può essere impedito di proseguire nella successiva fase di lavorazione.

Il sistema di controllo dell'invenzione comprende i seguenti blocchi funzionali, che vengono descritti con particolare riferimento alla figura 1.

Il sistema comprende un osservatore di stato dinamico, blocco A, che rileva lo stato del processo di saldatura X, rilevando anche quelle componenti che non sono misurate direttamente ma il cui andamento ha effetti importanti sul risultato finale. L'osservatore dinamico, blocco A, utilizza le misurazioni dirette Y_m , i comandi di ingresso U, ed un insieme di leggi fisiche e di regole sperimentali che definiscono l'andamento del processo ($f(X, U, Y_m, Sync)$), per ricavare un'immagine dello stato in cui il processo di saldatura si trova e per prevederne sua l'evoluzione dX/dt nel tempo. L'osservatore di stato dinamico, blocco A, fornisce una pluralità di uscite di performance Z che rappresentano quelle variabili le cui traiettorie definiscono un buon risultato della saldatura. In questa pluralità di variabili di performance Z vi sono anche grandezze che, non essendo misurabili direttamente, sono ricavate interpretando l'evoluzione dinamica del processo attraverso leggi fisiche e sperimentali opportunamente memorizzate nell'osservatore dinamico A. Grazie a tale pluralità di variabili di performance Z viene svolta l'attività di controllo e di diagnostica in linea del sistema di controllo. Le variabili che nelle diverse fasi servono ad individuare lo stato e i risultati del processo di saldatura sono ricostruite dall'osservatore di stato dinamico A.

Tra le variabili di performance considerate si trovano vantaggiosamente:

pressione nel cilindro, posizione del cilindro, velocità del cilindro, posizione della servovalvola, angolo d'innesto del parzializzatore, rapporto di trasformazione del trasformatore, utilizzato solo nel caso in cui il controllore possa comandarlo automaticamente, energia elettrica assorbita dalla rete, tensione dell'alimentazione continua ai morsetti del trasformatore, tensione d'arco, corrente d'arco, energia termica fornita ai giunti, potenza termica comunicata ai giunti, mappa termica dei giunti, larghezza del gap tra i giunti, quantità di metallo fuso, velocità di fusione dei giunti, potenza d'arco, potenza elettrica fornita dall'alimentatore, impedenza d'arco.

L'osservatore di stato dinamico, blocco A, prevede l'andamento del processo in risposta agli ingressi di controllo con l'impiego di algoritmi che tengono conto di leggi fisiche e sperimentali, ed usa le misurazioni solo per aggiornare le previsioni fatte e per correggere il valore di quei parametri che sono soggetti a variazioni temporali.

Tra i parametri che possono variare nel tempo e che l'osservatore di stato dinamico, blocco A, identifica in linea nel corso dello svolgimento del processo di saldatura ci sono: i parametri relativi alla caratteristica tensione-corrente-lunghezza d'arco, il rendimento termico dell'arco definito come rapporto tra energia termica fornita ai giunti ed energia elettrica fornita all'arco, il rendimento dell'alimentatore, la resistenza del circuito a corrente continua, la posizione dei giunti all'inizio della saldatura.

Nel caso di guasto a qualche sistema di misura diretta di una variabile l'osservatore di stato dinamico A continua comunque a prevedere l'andamento di tale variabile e, malgrado non venga più misurata, la legge di controllo dinamico, blocco C, è in grado di regolare ugualmente il



processo, sia pure con prestazioni leggermente degradate.

Un altro elemento compreso nel sistema di controllo è il generatore dinamico di traiettorie per le variabili di performance, blocco B, che impiega algoritmi basati su leggi fisiche e regole sperimentali, di tipo $g(X, U, Y_m, Sync)$. Il generatore dinamico di traiettorie fornisce le traiettorie ottimali Z_{set} che si desidera far seguire alle variabili di performance Z; le traiettorie sono configurate tramite un insieme di parametri Z_{spec} opportunamente prescelti dal progettista.

Nel sistema di controllo è previsto la già citata legge di controllo dinamica, blocco C, che calcola il comando per gli attuatori U in base al valore delle variabili di performance Z e delle traiettorie ottimali Z_{set} .

E' previsto inoltre un dispositivo diagnostico dinamico, blocco D, che, confrontando le traiettorie delle variabili di performance con quelle desiderate, genera degli indici di qualità della saldatura X_{diag} . Se questi indici di qualità cadono al di fuori di un intervallo predeterminato, viene generato un segnale di allarme che fa adottare alla legge di controllo dinamica, blocco C, una strategia di recupero della saldatura, che prevede l'interruzione della operazione saldatura prima della fase di ricalcatura. In casi estremi, in cui l'allarme sia stato generato durante la fase di ricalcatura si procederà al taglio del giunto saldato. Il dispositivo diagnostico dinamico D controlla anche l'efficienza del dispositivo di misura e d'attuazione. Nel caso di guasto si generano allarmi che inducono la legge di controllo dinamica, blocco C, ad adottare una strategia di controllo adatta ad operare in condizioni degradate.

Il sistema comprende anche un generatore di segnali di sincronismo, rappresentato dal blocco E, (chiamato anche Sequence Manager) che

inducono la legge di controllo dinamica, blocco C, ad adottare, in ogni fase della saldatura, l'appropriata strategia operativa, inviando a tutti i blocchi del sistema di controllo gli opportuni segnali.

La modalità operativa dell'osservatore di stato dinamico, blocco A, conforme all'invenzione si svolge nel modo seguente. Durante tutto il processo di saldatura, l'osservatore di stato, blocco A segue l'andamento del giunto da saldare. Rilevando l'andamento degli attuatori U , comprendenti un alimentatore elettrico e una valvola idraulica, l'osservatore di stato dinamico A calcola lo stato di tensioni e correnti del circuito, calcola il bilancio di potenza termica nei giunti, rileva la mappa termica della billetta, la geometria dell'arco elettrico, e lo stato del sistema di movimentazione idraulica. Confrontando i valori stimati delle variabili con le rispettive misure effettive, l'osservatore di stato A aggiorna lo stato stimato ed il valore dei parametri che sono soggetti a variazione, effettuando la loro identificazione in linea.

La strategia di osservazione cambia nelle diverse fasi del processo di saldatura secondo le modalità operative definite dal generatore di segnali di sincronismo, blocco E. Dallo stato del processo ricostruito, l'osservatore di stato genera delle variabili di performance Z che rappresentano le principali traiettorie da controllare per un buon esito della saldatura, le variabili su cui operare l'inferenza diagnostica, le variabili che servono al generatore di sincronismi per stabilire i passaggi da una fase all'altra del processo di saldatura e cambiamenti di modalità operativa.

La modalità operativa del generatore di traiettorie ottimali, blocco B, è la seguente. Le traiettorie ottimali Z_{set} sono variabili nel tempo e vengono calcolate a partire da alcuni parametri di messa punto Z_{spec} della mac-

china.

Le variabili di performance Z a cui vengono assegnate delle traiettorie per il controllo della fase di preriscaldo comprendono la forza di compressione delle billette da saldare, la velocità di spostamento dei giunti, la corrente da far passare nei giunti, i tempo di contatto tra i giunti.

Le variabili di performance Z a cui vengono assegnate delle traiettorie per il controllo della fase di scintillazione comprendono la lunghezza dell'arco, la potenza termica fornita dall'arco, la tensione dell'arco, l'impedenza dell'arco, il profilo di temperatura sui giunti.

Le variabili di performance Z a cui vengono assegnate delle traiettorie per il controllo della fase di ricalcatura comprendono la pressione di ricalcatura delle billette, la corrente da far scorrere nei giunti, la posizione dei giunti.

Le traiettorie ottimali per le variabili di performance Z che sono funzione dinamica del tempo e delle stesse variabili di performance Z e vengono generate, utilizzando algoritmi opportuni, che incorporano un insieme di regole ricavate da leggi fisiche e da dati sperimentali.

Poiché le variabili di performance sono tra loro dipendenti, legate da precise relazioni, per es. Impedenza d'arco, tensione d'arco, corrente d'arco, bastano pochi parametri di messa a punto Zspec per definire l'andamento di innumerevoli traiettorie per le variabili di performance Z.

La modalità operativa della legge di controllo dinamica, blocco C, è la seguente. La legge di controllo dinamica, blocco C, induce un sottoinsieme delle variabili di performance Z, selezionato a seconda della fase del processo, a seguire le rispettive traiettorie ottimali. Se non è possibile seguire esattamente tutte le traiettorie specificate, la legge di controllo



dinamica, blocco C, minimizza una media pesata degli errori d'inseguimento delle traiettorie, i pesi di questa media sono determinati dai guadagni di controllo e calcolati con una tecnica d'ottimizzazione multiobiettivo. In questo modo gli errori più pesanti saranno quelli che daranno il maggior contributo all'azione di controllo.

La modalità operativa del dispositivo diagnostico dinamico, blocco D, si svolge come segue. Lo scopo primario del dispositivo diagnostico è quello di interrompere la saldatura qualora qualche fattore di disturbo imprevedibile rilevato dal dispositivo diagnostico dinamico ne degradaesse la qualità. Una saldatura mal riuscita può essere estremamente pericolosa poiché può causare un incaglio nelle successive fasi di lavorazione, in particolare nel laminatoio;

Il fattore di disturbo più frequente e più critico consiste in una forte irregolarità nel profilo dei giunti da saldare, tuttavia possono presentarsi anche altri disturbi quali alte resistenze di contatto alle morse che non permettono di comunicare all'arco la potenza desiderata, variazioni della tensione di linea, ecc.

Una funzione ulteriore svolta dal dispositivo diagnostico dinamico D è quella di rivelare eventuali guasti nel sistema di saldatura.

Il dispositivo diagnostico dinamico, blocco D, viene alimentato dalle variabili di performance Z e dalle specifiche di traiettoria Zset. A partire da queste variabili di ingresso esso genera dinamicamente al suo interno un numero di variabili diagnostiche Ydiagn mediante un algoritmo basato su un insieme di regole fisiche e sperimentali intervalli di valori X_{diagn} . Se le variabili diagnostiche Ydiagn escono dai rispettivi intervalli di valori prefissati sperimentalmente il dispositivo diagnostico D emette degli al-

larmi specifici. Gli allarmi vengono inviati al generatore di segnali di sincronismo, blocco E, che mette in atto di conseguenza l'adeguata strategia di risposta.

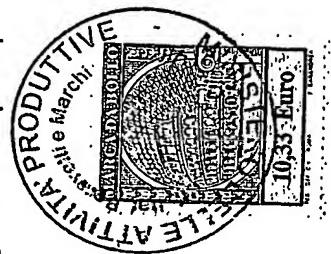
La modalità operativa del generatore di segnali di sincronismi, blocco E, è la seguente. Il generatore di segnali di sincronismi ha il compito principale di informare i blocchi funzionali del sistema di controllo sullo stato della sequenza di saldatura. La sequenza di saldatura comprende fondamentalmente le tre fasi citate preriscaldo, scintillazione, ricalcatura ognuna delle quali è ulteriormente suddivisa in sottofasi. L'inizio del ciclo di saldatura viene determinato da un segnale di abilitazione che viene passato dal sistema di controllo centrale del laminatoio, che può essere integrato nel sistema di controllo della saldatura se necessario, nell'istante in cui la billetta da saldare è stata correttamente posizionata sulla saldatrice.

La transizione da una fase all'altra del ciclo di saldatura viene determinata in base al tempo o in base al raggiungimento di alcune condizioni delle variabili di performance Z.

Il generatore segnali di sincronismo, blocco E, informa i blocchi del sistema di controllo riguardo alla fase ed alla sottofase del ciclo di saldatura in cui sta operando.

La modalità operativa di ogni fase del processo di controllo può venire modificata qualora siano stati emessi degli allarmi dal dispositivo diagnostico blocco D. Il generatore di sincronismo riceve tali allarmi diagnostici, li interpreta e invia i comandi ai blocchi del sistema controllo di operare nella corretta modalità di funzionamento degradato.

Un numero di traiettorie ottimali imposte in fase di scintillazione ad alcu-





ne variabili di performance non direttamente misurate sono illustrate nei grafici della figura 3, a titolo di esempio vantaggioso.

Il sistema di controllo di una macchina di saldatura di testa conforme all'invenzione sopra descritto può essere realizzato mediante un sistema informatizzato progettato all'uopo, o anche in modo particolarmente vantaggioso per mezzo di un programma per elaboratore elettronico di applicabilità generale, per es. un PC. In tal caso i blocchi funzionali descritti sopra, cioè l'osservatore di stato dinamico (A), il generatore di traiettorie dinamico (B), la legge di controllo dinamica (C), il generatore di segnali di sincronismo (E), il sistema diagnostico dinamico (D) corrispondono a dei blocchi di software, scritti opportunamente nel linguaggio di programmazione adatto all'impiego ottimale sul tipo di elaboratore utilizzato per il controllo della macchina di saldatura.

Nello schema indicato nella figura 2 è rappresentato il flusso, o schema funzionale logico, del processo con l'indicazione delle grandezze che abilitano il passaggio da uno stadio del processo di saldatura a quello successivo. Si nota il vantaggio che la presenza del sistema di diagnostica, conformemente all'invenzione, offre rispetto a sistemi di controllo noti, per cui verificando on-line, durante la fase di scintillio, la qualità del giunto può discriminare lo stato successivo. In questo modo le saldature difettose possono venire scartate senza creare problemi durante le successive lavorazioni.



RIVENDICAZIONI

1. Metodo per il controllo in linea di una macchina di saldatura di testa per barre, blumi o billette, durante cicli di saldatura, che prevede

- una prima azione di controllo dell'azionamento di un primo attuatore (U) di apertura di una valvola di controllo del posizionamento delle morse della macchina di saldatura,
- una seconda azione di controllo d'angolo di innescio di un parzializzatore per controllare la potenza termica fornita al processo di saldatura, dette prima e seconda azione essendo regolate sulla base dell'analisi da parte di un osservatore di stato dinamico (A) della storia del processo di saldatura durante lo svolgimento di ogni ciclo di saldatura, per stimare l'andamento di una pluralità di variabili di stato (X) e di variabili di performance (Z) da utilizzare come base per l'azione di controllo dello stesso ciclo e dei cicli di saldatura successivi.

2. Metodo secondo la rivendicazione 1 in cui per la regolazione di dette prima e seconde azioni è prevista

l'osservazione di variabili di stato (X) dei cicli di saldatura da parte dell'osservatore di stato dinamico (A),

la definizione di traiettorie ottimali (Z_{set}) predeterminate da far seguire a una pluralità di variabili di performance (Z) da parte di un generatore di traiettorie dinamico (B) per variabili di performance (Z),

l'esecuzione di una legge di controllo dinamica (C) basata sul valore delle variabili di performance (Z), delle traiettorie ottimali (Z_{set}) e di una strategia operativa determinata in funzione della fase in cui si trova il processo di saldatura,

la generazione di segnali di sincronismo (Sync) da parte di un generato-



re di segnali (E) in base a cui la legge di controllo dinamica (C) adotta le strategie operative determinate,

3. Metodo secondo la rivendicazione 2 in cui le variabili di performance (Z) controllate dalla legge di controllo dinamica (C) comprendono l'impedenza d'arco, la lunghezza d'arco, la tensione primaria di corrente d'arco.

4. Metodo secondo la rivendicazione 3 in cui la legge di controllo dinamica (C) prevede, durante una fase di scintillazione del processo di saldatura, di mantenere costante la lunghezza d'arco e di variare la tensione primaria di corrente d'arco in base alla variazione di impedenza d'arco.

5. Metodo secondo la rivendicazione 4 in cui è prevista una diagnosi in linea da parte di un sistema diagnostico dinamico (D) per la quale viene effettuato il confronto delle traiettorie delle variabili di performance (Z) con le traiettorie desiderate (Z_{set}) da parte di detto sistema diagnostico dinamico (D) che genera indici di qualità della saldatura.

6. Metodo secondo la rivendicazione 5 in cui è prevista la variazione automatica in linea del rapporto di trasformazione di un trasformatore d'alimentazione della macchina di saldatura di testa.

7. Sistema di controllo di una macchina di saldatura di testa per barre, blumi o billette, atto alla messa in opera del metodo secondo la rivendicazione 1, tale macchina comprendente un attuatore (U) di apertura di una valvola di controllo del posizionamento delle morse della macchina di saldatura, di un parzializzatore, in cui il sistema di controllo prevede un osservatore di stato dinamico (A) atto a osservare una pluralità di variabili di stato (X) di un processo di saldatura eseguito dalla macchina,



un generatore di traiettorie dinamico (B) per variabili di performance (Z), atto a definire predeterminate traiettorie ottimali (Z_{set}) da far seguire alle variabili di performance (Z),

una legge di controllo dinamica (C) atta a comandare l'attuatore (U), il parzializzatore in base al valore delle variabili di performance (Z) e delle traiettorie ottimali (Z_{set}) predeterminate,

un generatore di segnali di sincronismo (E) atta alla generazione di segnali di sincronismo (Sync).

8. Sistema secondo la rivendicazione 7 in cui è previsto un variatore di rapporto di trasformazione atta a comandare il rapporto di trasformazione.

9. Sistema secondo la rivendicazione 8 in cui è previsto un sistema diagnostico dinamico (D) atto a generare indici di qualità della saldatura, confrontando le traiettorie delle variabili di performance (Z) con le traiettorie desiderate (Z_{set}).

10. Sistema secondo la rivendicazione 9 in cui l'osservatore di stato dinamico (A), il generatore di traiettorie dinamico (B), la legge di controllo dinamica (C), il generatore di segnali di sincronismo (E), il sistema diagnostico dinamico (D) sono realizzati mediante un programma per elaboratore elettronico.

11. Sistema di controllo di una macchina di saldatura di testa per barre, blumi o billette, secondo la rivendicazione 10, in cui la macchina è del tipo Flash Welding.

(BCQ/pd)

4043PTIT

Notarbartolo & Gervasi S.p.A.

Milano, il 25 Marzo 2003

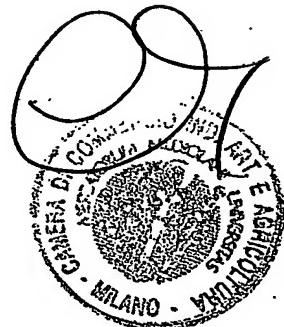
p. DANIELI & C. OFFICINE MECCANICHE S.p.A.

DANIELI AUTOMATION S.p.A.

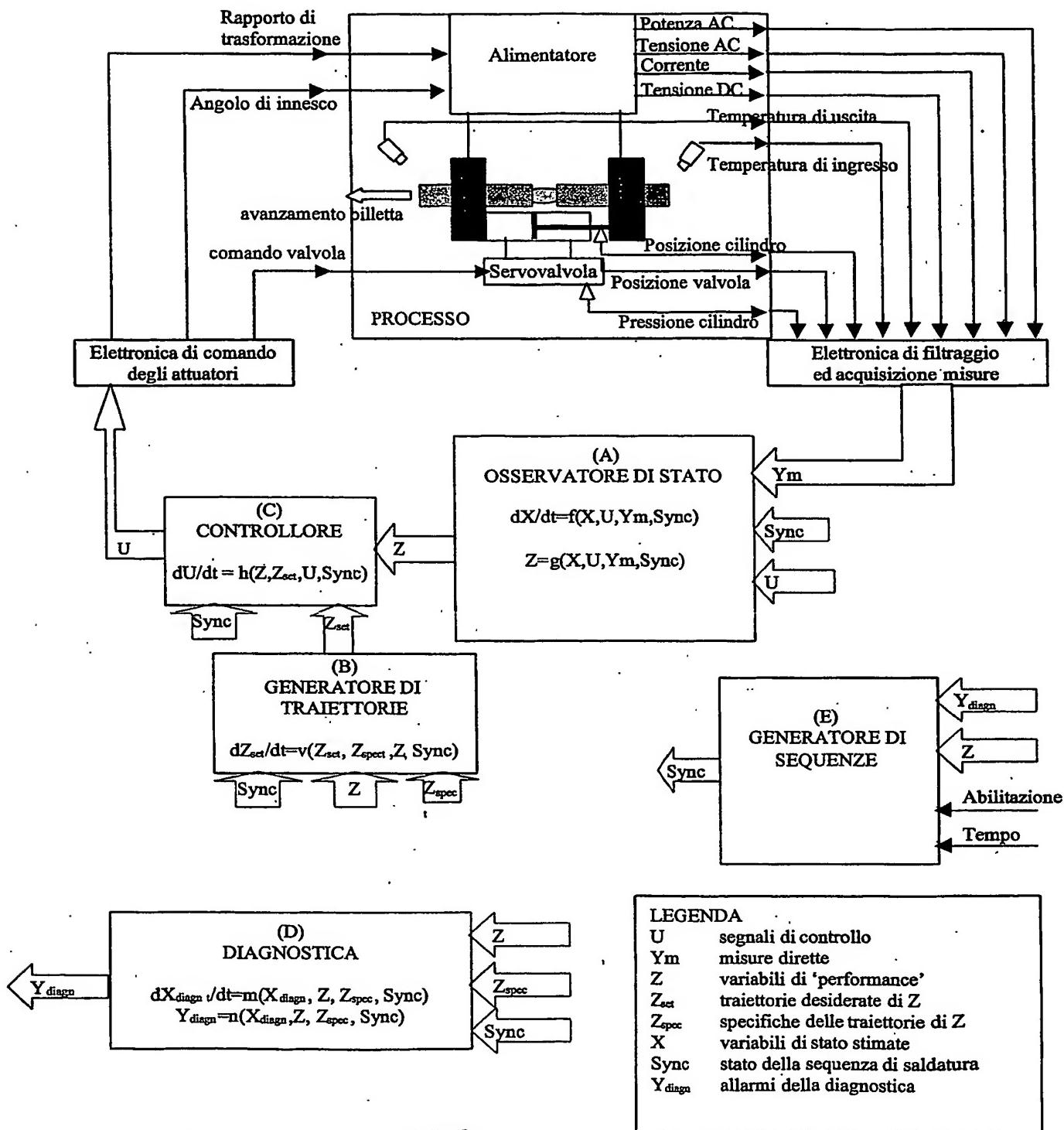
Il Mandatario


Dr.ssa Gemma Gervasi

NOTARBARTOLO & GERVASI S.p.A.

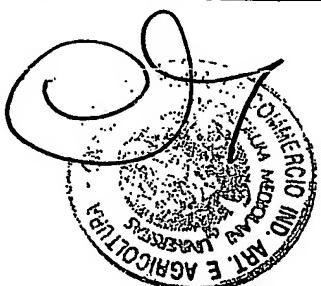


Franco Toscani



MI 2003 A 000589

FIG. 1



firma facci

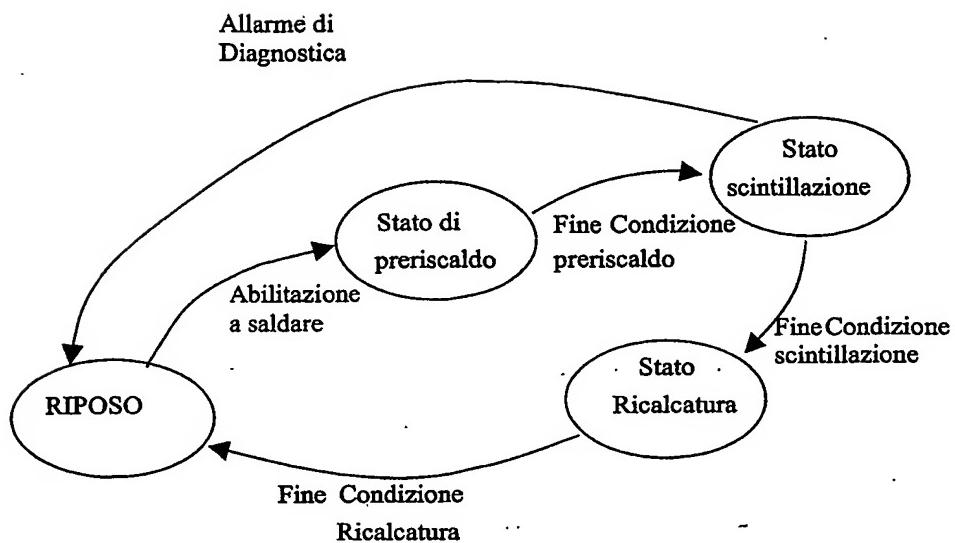
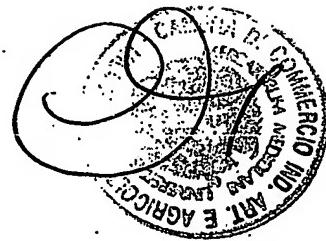
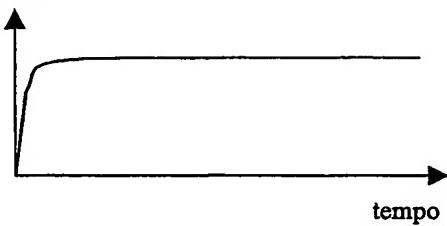


FIG. 2

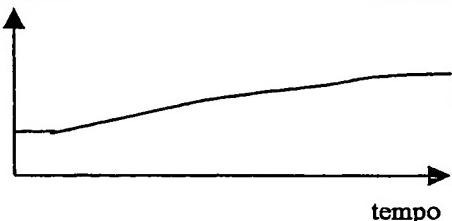
MI 2003 A 0 00589



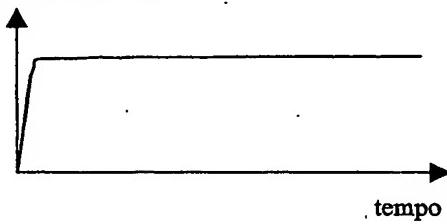
Tensione d'arco



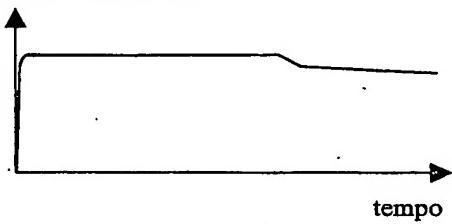
Temperatura minima della zona di ricalcatura



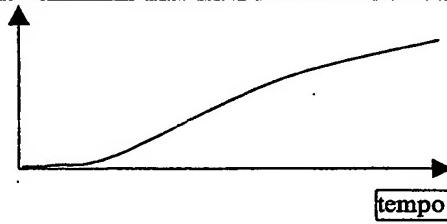
Lunghezza d'arco



Potenza termica utile



Quantità di acciaio fuso



Corrente d'arco

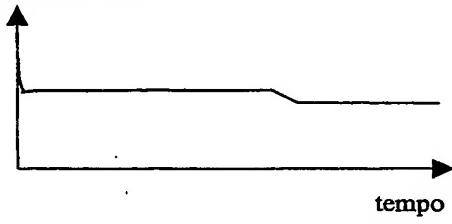
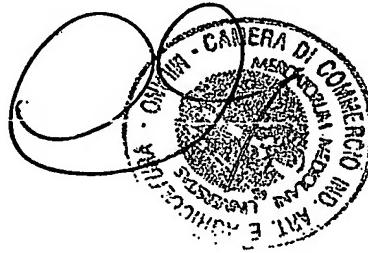


FIG. 3

MI 2003A 000589



This Page is inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

BLACK BORDERS

IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

FADED TEXT OR DRAWING

BLURED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

SKEWED/SLANTED IMAGES

COLORED OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

GRAY SCALE DOCUMENTS

LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

REPERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning documents *will not* correct images problems checked, please do not report the problems to the IFW Image Problem Mailbox